Iranian Journal of Field Crops Research
Homepage: https://jcesc.um.ac.ir

Research Article
Vol. 22, No. 1, Spring 2024, p. 89-101

Evaluation of the Reaction of Early Genotypes of Quinoa Plant to Different Levels of Salinity Stress

M. Kia[1], N. Bagheri[2*], N. Babaeian Jelodar[3], M. Bagheri[4]

1- PhD graduate, Department of Plant Breeding, Faculty of Agricultural Sciences, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran
2- Associate Professor, Department of Plant Breeding, Faculty of Agricultural Sciences, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran
3- Professor, Department of Plant Breeding, Faculty of Agricultural Sciences, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran
4- Assistant Professor, Seed and Plant Improvement Institute, Agricultural Research Education and Extension Organization, Karaj, Iran
(*- Corresponding Author Email: n.bagheri@sanru.ac.ir)

Received: 09 October 2023 Revised: 12 December 2023 Accepted: 31 December 2023 Available Online: 14 February 2024	**How to cite this article:** Kia, M., Bagheri, N., Babaeian Jelodar, N., & Bagheri, M. (2024). Evaluation of the Reaction of Early Genotypes of Quinoa Plant to Different Levels of Salinity Stress. *Iranian Journal of Field Crops Research, 22*(1), 89-101. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jcesc.2024.83794.1260

Introduction

Prolonged droughts and lack of water resources, followed by the salinity of water and soil resources, have faced many limitations in the production of some conventional agricultural and garden plants, especially in arid and semi-arid regions of the country. Therefore, the introduction of new plants with high yield potential, which have suitable growth in saline soils, the threshold of their seed yield reduction is high, and the production product is of high quality has been considered in Iran. Quinoa with the scientific name Chenopodium quinoa Willd. It is an annual plant originating from Latin America, which, despite its high nutritional value, tolerates a wide range of abiotic stresses and can grow in marginal lands. For this reason, this experiment was conducted to investigate the performance of quinoa plant genotypes against different levels of salinity in the research field of the Gorgan Agricultural Meteorological Research Department.

Materials and Methods

Cultivation of seeds of nine genotypes Titicaca (control number), Giza1, RedCarina, Q18, Q21, Q22, Q26, Q29, and Q31 obtained from Karaj Seedling and Seed Breeding Research Institute in a factorial experiment based on a complete random block design. Plastic pots were made with a bed of sand and clay in a ratio of two to one on March 5, 2019. The application of NaCl salt solution treatments at the levels of zero, 10, 20, and 30 decisiemens/m started after the establishment of the plant and reached the six-leaf stage and lasted for 45 days. After salinity treatment, morphological traits including plant height, stem diameter, number of sub-branches, inflorescence length, inflorescence width, biomass, 1000 seed weight, and seed weight per plant were measured.

Results and Discussion

https://doi.org/10.22067/jcesc.2024.83794.1260

According to this study, with the increase in NaCl salinity level, there was a significant decrease in all traits. Different genotypes also had significant differences in most traits in each salinity treatment. The RedCarina and Q12 genotypes consistently exhibited poor performance across all salinity levels in the examined traits, whereas the Giza1 and Q21 genotypes demonstrated high performance in most traits, indicating sensitivity and tolerance, respectively. These two groups of genotypes consistently clustered together in both cluster analysis and biplot tests across different salinity levels. However, some genotypes displayed relative performance variations at different salinity levels. For instance, the Titicaca cultivar excelled at high salinity levels of 20 and 30 $dS.m^{-1}$, while the Q29 and Q31 genotypes exhibited high performance and tolerance to salinity stress at low salinity levels of zero and 10 $dS.m^{-1}$. Genotypes that had high yield potential at low salinity levels had the highest yield in vegetative traits at salinity levels of 20 and 30 decisiemens, but had the lowest values in reproductive traits, especially in seed weight. In Principal Component Analysis, reproductive traits explained the most changes in high salinity levels. Salinity stress caused a significant decrease in most of the traits of the quinoa plant. The response of genotypes to different salinity levels was different. In addition, the genotypes showed different performance even in different growth phases. The high performance in traits related to the vegetative phase and weak response in the reproductive phase show that the granulation stage in the quinoa plant can be introduced as a salinity-sensitive stage. These results also show the high diversity of quinoa plant genotypes in each of the different salinity levels.

Acknowledgment

The authors are grateful for the unreserved help of Dr. Morteza Oladi and Engineer Hossein Shakeri and the cooperation of the Meteorological Department of Hashemabad, Gorgan.

Keywords: Cluster analysis, Correlation, NaCl, Quinoa

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
Homepage: https://jcesc.um.ac.ir

مقاله پژوهشی

جلد ۲۲، شماره ۱، بهار ۱٤۰۳، ص ۱۰۱-۸۹

ارزیابی واکنش ژنوتیپ‌های زودرس گیاه کینوا به سطوح مختلف تنش شوری

میعاد کیا[۱]، نادعلی باقری[۲*]، نادعلی بابائیان جلودار[۳]، محمود باقری[٤]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۷/۱۷
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۰/۱۰

چکیده

جهت بررسی عملکرد گیاه کینوا (*Chenopodium quinoa* Willd.) در برابر تنش شوری، آزمایشی با کشت بذور ۹ ژنوتیپ به‌صورت فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی در گلدان‌های پلاستیکی با بستر ماسه و رس به نسبت دو به یک در مزرعه پژوهشی اداره تحقیقات هواشناسی کشاورزی گرگان انجام شد. تیمارهای محلول شوری NaCl در سطوح صفر، ۱۰، ۲۰ و ۳۰ دسی‌زیمنس بر متر پس از استقرار گیاه و رسیدن به مرحله شش برگی به مدت ۴۵ روز اعمال شد. پس از تیمار شوری اندازه گیری صفات مورفولوژیکی انجام گرفت. ژنوتیپ‌های RedCarina و Q12 با روندی یکنواخت در تمامی سطوح شوری دارای مقادیر پایین در صفات مورد بررسی و همچنین ژنوتیپ‌های Giza1 و Q21 بـا مقـادیر بـالا در اکثـر صـفات به‌ترتیب به‌عنوان ژنوتیپ‌های حساس و متحمل معرفی شدند، به‌طوری‌که این دو گروه از ژنوتیپ‌ها در خوشه‌بندی تجزیه کلاسـتر و همچنـین بـایپلات سطوح مختلف شوری، همواره در گروه‌های مشابه قرار گرفتند. اما برخی ژنوتیپ‌ها عملکردی نسبی در سطوح مختلف شوری داشتند. رقم Titicaca در سطوح شوری بالا و ژنوتیپ‌های Q29 و Q31 در سطوح پایین شوری دارای عملکرد و تحمل بالا نسبت به تنش شـوری بودنـد. برخـی ژنوتیپ‌هـا در سطوح شوری ۲۰ و ۳۰ دسی‌زیمنس اگرچه در صفات رویشی دارای بهترین عملکرد بودند اما در صفات زایشی، پایین‌ترین مقادیر را داشتند. در تجزیه به مولفه‌های اصلی نیز، صفات زایشی بیشترین تغییرات را در سطوح شوری بالا توجیه کرد. با توجه به نتایج، مرحلـه دانه‌بنـدی در گیـاه کینـوا را می‌تـوان به‌عنوان یک مرحله حساس به شوری معرفی کرد.

واژه‌های کلیدی: NaCl، تجزیه خوشه‌ای، کینوا، همبستگی

مقدمه

از دست دادن عملکرد به دلیل خاک‌های شور یک مشـکل رایـج در سراسر جهان است. زیرا اکثر گیاهان زراعی گلیکوفیت هسـتند و از این رو به شوری حساس هستند. ۹۷/۵ درصد از آب جهان، شور است و زمین‌های بـزرگ بـه‌طور طبیعـی شـور هسـتند (Mishra, 2023). فعالیت‌های انسانی نیـز مشـکل را در بسـیاری از منـاطق آسـیب‌دیده تشدید مـی‌کنـد (Munns & Tester, 2008). شـوری خـاک اثـرات گوناگونی بر عملکرد و کیفیت گیاهان زراعـی دارد. نتـایج قریـب بـه اتفاق مطالعات شوری نشان می‌دهد که بـالا بـودن غلظـت نمـک در محلول خاک، عملکرد گیاهان زراعـی را بـه شـدت کـاهش می‌دهـد (Rahimian & Banakar 2013). بنابراین، رویکردهای جدید بـرای مقابله با این مشکلات ضروری اسـت. یکـی از گزینـه‌هـا اسـتفاده از گونه‌های گیاهی هالوفیتی است که می‌توانند سطوح بالایی از شـوری خاک را تحمل کنند (Koyro & Eisa, 2008). گیاه کینوا متعلق بـه Amaranthaceae است، یک خانواده گیـاهی کـه بیشـترین نسـبت (۴۴٪) از گونه‌های گیاهی هالوفیتی را تشکیل می دهد (Flowers & Muscolo, 2015). کینوا یک گونه گیاهی هالوفیتی اختیـاری اسـت

۱- دانش‌آموخته دکتری اصلاح نباتات، دانشگاه علـوم کشـاورزی و منـابع طبیعـی ساری، ساری، ایران
۲- دانشیار گروه اصلاح نباتات، دانشکده علوم زراعـی، دانشگاه علـوم کشـاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران
۳- استاد گروه اصلاح نباتات، دانشکده علوم زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران
۴- استادیار، موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات آمـوزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: n.bagheri@sanru.ac.ir)
https://doi.org/10.22067/jcesc.2024.83794.1260

که انواع آن قادر به مقابله با سطوح شوری موجود در آب دریا (رسانایی الکتریکی ۴۰ دسی‌زیمنس بر متر NaCl) هستند (Jacobsen, Quispe, & Mujica, 2001; Jacobsen, Mujica, & Jensen, 2003; Koyro & Eisa, 2008; Hariadi, Marandon, Tian, Jacobsen, & Shabala, 2011). در مطالعه‌ای، ویلسون و همکاران (Wilson, Read, & Abo-Kassem, 2002) جهت بررسی واکنش گیاه کینوا به افزایش سطح شوری، مشاهده کردند گیاهان تا رسیدن به تیمار شوری ۱۱ دسی‌زیمنس بر متر تمایل به افزایش در سطح برگ و وزن خشک گیاهان در مقایسه با گیاهان رشدیافته در سطح شاهد (۳ دسی‌زیمنس بر متر) داشتند. اما پس از این سطح شوری گیاهان دچار نقصان عملکرد شدند. در یک آزمایش هیدروپونیک، گیاه کینوا با تیمار سطوح ۰، ۱۰۰، ۲۰۰، ۳۰۰، ۴۰۰ و ۵۰۰ میلی‌مولار NaCl آزمایش شدند. رشد گیاهان در تیمار ۱۰۰ میلی‌مولار NaCl تحریک شد و بالاترین عملکرد رویشی را از خود به نمایش گذاشت. این ویژگی عمدتا به دلیل افزایش محتوای آب بافت گیاه در محیط شور عنوان شد. سطوح شوری بالاتر به‌طور قابل‌توجهی رشد گیاه را کاهش داد و حداکثر کاهش ۸۲ درصدی در غلظت ۵۰۰ میلی‌مولار NaCl مشاهده شد (Eisa, Hussin, Geissler, & Koyro, 2012). آدولف و همکاران (Adolf, Jacobsen, & Shabala, 2013)، افزایش تولید بیوماس در شوری متوسط در کینوا را مورد توجه قرار داده و پیشنهاد دادند از آن‌جایی که گیاه کینوا سازگاری بهتری را در سطوح شوری متوسط نسبت به خاک‌های معمولی از خود نشان می‌دهد، این گیاه در گروه گیاهان "Cash Crop Halophytes" قرار گیرد. هالوفیت‌های محصول سودمند، گیاهان شورپسندی هستند که عملکرد بهینه خود را در زمین‌های با شوری پایین تا متوسط (در حد شوری دریا) به نمایش می‌گذارند.

در مطالعه‌ای ۱۰ ژنوتیپ مختلف کینوا در دو منطقه مشهد و میمه، بررسی و بهترین ژنوتیپ‌ها برای هر منطقه مشخص شد. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، ژنوتیپ‌های Q26 و RedCarina در هر دو منطقه میمه اصفهان و مشهد از نقطه نظر صفت عملکرد در برترین گروه تیماری قرار گرفته و لذا برای کشت بهاره در مناطق سرد و معتدل کشور قابل‌توصیه دانسته شدند (Bagheri *et al.*, 2019).

به‌منظور بررسی تأثیر دما بر جوانه‌زنی گیاه کینوا تحت تنش شوری آزمایشی به‌صورت فاکتوریل با هفت سطح دما و چهار سطح تنش شوری انجام شد. نتایج آزمایش نشان داد با افزایش تنش شوری در سطوح دمایی مختلف به‌جز شوری ۱۲ بار و دمای ۳۵ درجهٔ سلسیوس، درصد جوانه‌زنی تفاوت معنی‌داری نشان نداد ولی سرعت جوانه‌زنی تفاوت معنی‌داری داشت (Mamedi, Tavakkol Afshari, & Oveisi, 2016). جهت بررسی تاثیر سطوح مختلف شوری آب آبیاری بر اجزای عملکرد، وزن خشک زیست‌توده، عملکرد دانه و شاخص برداشت کینوا آزمایشی در شرایط لایسیمتری با سطوح شوری شامل چهار سطح ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ دسی‌زیمنس بر متر آب آبیاری انجام شد. نتایج نشان داد افزایش شوری از ۵ به ۲۰ دسی‌زیمنس بر متر موجب کاهش ۲۹/۵ درصدی وزن خشک زیست‌توده، ۷۷ درصدی عملکرد دانه و ۱۱/۷ درصدی شاخص برداشت، ۱۷ درصدی ارتفاع بوته، ۲۹ درصدی طول پانیکول، ۳۹ درصدی عرض پانیکول، ۴۰ درصدی تعداد ساقه فرعی، ۳۹ درصدی تعداد پانیکول در بوته و ۱۹ درصدی وزن هزار دانه گردید (Beyrami, Rahimian, Salehi, Yazdani Biouki, & Shiran-Tafti, 2020).

به‌منظور بررسی اثر رژیم‌های مختلف آبیاری و سطوح مختلف شوری بر برخی شاخص‌های فیزیولوژیک گیاه دارویی کینوا رقم Sajama آزمایشی شامل سه سطح آبیاری (۱۰۰، ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی) و پنج سطح شوری (۰/۵، ۴/۳، ۸، ۱۱/۸ و ۱۶ دسی‌زیمنس بر متر) انجام گرفت. نتایج حاکی از آن است که گیاه کینوا مقاوم به شوری آب آبیاری بوده، به‌طوری‌که افزایش اختلاط آب دریا به‌میزان ۳۰ درصد با تیمار شاهد اختلاف معنی‌داری در تمامی صفات نداشت (Sharifan, Jamali, & Sajadi, 2018).

جهت مطالعه اثر گاما آمینو بوتیریک اسید (گابا) در پنج سطح (صفر، ۲/۵، ۵، ۷/۵ و ۱۰ میلی‌مولار) بر کاهش اثرات ناشی از تنش شوری در سه سطح (صفر، ۸ و ۱۶ دسی‌زیمنس بر متر کلرید سدیم) در گیاه کینوا رقم تی تی کاکا، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه قزوین اجرا شد. نتایج نشان داد که شوری اثر کاهنده و معنی‌داری بر شاخص‌های رشد و نموی کینوا داشت. اثر متقابل شوری و گابا برای اکثر صفات معنی‌دار بود. در شوری ۱۶ دسی‌زیمنس بر متر، برترین تیمار گابا، منجر به بهبود ویژگی‌های کمی و کیفی گیاه خصوصا محتوای نسبی آب برگ (۱۰ درصد)، وزن هزار دانه (۳۷ درصد)، عملکرد دانه (۳۶ درصد)، وزن خشک گیاه (۷۰ درصد) نسبت به شرایط عدم استفاده از گابا شد (Hatami, Aminian, Mafakheri, & Soleimani Aghdam, 2021).

کینوا حداقل ۷۰۰۰ سال است که در کوه‌های آند کشت می‌شود (Pearsall, 1992) و یک محصول مهم بذری در این منطقه است. علاقه به این محصول در سراسر جهان در حال افزایش است (Jacobsen *et al.*, 2003)، نه تنها به دلیل تحمل استرس آن، بلکه به دلیل کیفیت غذایی استثنایی آن (Vega-Gálvez *et al.*, 2010). دقیقا به همین دو ویژگی این گیاه به‌عنوان «یکی از غلات قرن بیست و یکم» توصیف شده است که نقش کلیدی در تهیه غذای پایدار در شرایط نامطلوب محیطی ناشی از تغییرات آب و هوایی ایفا خواهد کرد (Konishi, 2002). پیش‌بینی می‌شود که جمعیت جهان تا سال‌های ۲۰۵۰ و ۲۱۰۰ به‌ترتیب در حدود ۹/۸ و ۱۱/۲ میلیارد نفر باشد و با افزایش تولید فعلی در بخش کشاورزی، باید غذای کافی

تأمین شود (Flowers & Muscolo, 2015). برترو و همکاران هدف در اصلاح کینوا را توسعه واریته‌هایی دانسته‌اند که با مناطق کشاورزی–اقلیمی متنوع سازگار شده و در عین حال عملکرد دانه و اجزای با کیفیت بالایی دارند (Bertero, de la Vega, Correa, Jacobsen, & Mujica, 2004).

از همین روی، این آزمایش به‌منظور ترسیم ایده اولیه از وضعیت تحمل ژنوتیپ‌های زودرس گیاه کینوا به تنش شوری، جهت توصیه و کشت ژنوتیپ‌های مطلوب هر منطقه با سطح شوری مختلف انجام گرفت تا در نهایت با افزایش سطح زیر کشت این محصول، علی‌الخصوص در زمین‌هایی که با تنش شدید شوری مواجه است، باعث افزایش مواد اولیه در تامین غذای کشور شود.

مواد و روش‌ها

بذور ۹ ژنوتیپ زودرس Titicaca (رقم شاهد)، Giza1، RedCarina، Q12، Q21، Q22، Q26، Q29 و Q31 جهت بررسی میزان تحمل به سطوح مختلف شوری در اداره تحقیقات هواشناسی کشاورزی گرگان به‌صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار کشت شدند. آزمایش در گلخانه روباز که در زمان بارندگی مسقف می‌شد، انجام گرفت. تعداد ۲۰ بذر ژنوتیپ‌ها در گلدان‌های پلاستیکی با ۳۵ سانتی‌متر ارتفاع و ۲۵ سانتی‌متر قطر، دارای منافذی در زیر گلدان جهت خروج آب اضافی با ترکیب خاک دو به یک ماسه و خاک رس منطقه در عمق ۱/۵ سانتی‌متر در تاریخ ۵ اسفند ۱۳۹۹ کشت شدند. ترکیب خاک این آزمایش قبل از پر کردن در گلدان‌ها به اندازه کافی با آب شهری، آب‌شویی انجام شد تا شرایط خاک برای همه تیمارها یکسان باشد. تعداد بوته پس از جوانه‌زنی و استقرار گیاه به چهار بوته در هر گلدان تقلیل یافت. اعمال تیمارهای محلول شوری NaCl در سطوح صفر، ۱۰، ۲۰ و ۳۰ دسی‌زیمنس بر متر پس از استقرار گیاه و رسیدن به مرحله شش برگی آغاز شد و به مدت ۴۵ روز طول کشید. با در نظر گرفتن شرایط انجام آزمایش از قبیل گرمای هوا، فضای باز و خاک سبک گلدان، آبیاری محلول‌های شوری به‌صورت یک روز در میان انجام گرفت و با توجه به اندازه‌گیری میزان شوری خاک به کمک دستگاه شوری‌سنج، مارک هانا و مدل AZ8373، جهت عدم تجمع بیش از حد نمک، نیاز به دو بار آب‌شویی گلدان‌ها با آب شهری در ۳ هفته و ۶ هفته بعد از شروع تیمار شوری بوده است که انجام گرفت (Akbari Ghozhdi, Izadi Darbandi, Borzoyei, & Majdabadi, 2010). آبشویی به مقداری انجام شد که میزان شوری خاک به سطح شوری مورد تیمار گلدان برگردد. جهت تامین مواد غذایی مورد نیاز گیاه از محلول غذایی هوگلند با در نظر گرفتن عدم تاثیر بر سطح شوری بستر کشت، استفاده شد. در پایان اعمال تیمار شوری، تمامی گیاهان آزمایش برداشت شدند و صفات ارتفاع گیاه، قطر ساقه، تعداد شاخه فرعی، طول گل‌آذین، عرض گل‌آذین، بیوماس، وزن هزاردانه و وزن دانه در هر گیاه، مورد بررسی قرار گرفت. برای تجزیه واریانس، کلاستر و محاسبه ضریب همبستگی پیرسون از نرم‌افزار EXCEL و SPSS، به‌منظور مقایسه میانگین صفات از آزمون دانکن در سطح پنج درصد و رسم نمودار بایپلات از نرم‌افزار PAST3 استفاده شد.

نتایج و بحث

تجزیه واریانس صفات

تجزیه واریانس داده‌ها در تمامی صفات مورد بررسی، نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار بین ژنوتیپ‌ها (به‌جز صفت قطر ساقه) و همچنین بین سطوح مختلف شوری در سطح معنی‌داری یک درصد می‌باشد. همچنین اثر متقابل دو فاکتور شوری و ژنوتیپ به‌جز در صفات طول گل آذین و قطر ساقه، معنی‌دار بود (جدول ۱). سطوح مختلف شوری در تمامی صفات، اثرات منفی قابل‌توجهی را به‌وجود آورد. به طوری که در اکثر موارد با افزایش سطح شوری، کاهش معنی‌داری در تمامی صفات مورد بررسی به‌وجود آمد (جدول ۲). با توجه به معنی‌دار شدن اثرات ژنوتیپ، شوری و اثر متقابل این دو عامل، مقایسه میانگین آن‌ها با استفاده از روش دانکن در سطح یک درصد در تمامی صفات انجام شد (جداول ۷، ۸ و ۹).

با افزایش سطح شوری، کاهش معنی‌داری در ارتفاع گیاه به‌وجود آمد. در بین اثرات متقابل بین ژنوتیپ و شوری در این صفت، ژنوتیپ Q12 در تیمار شاهد، بیشترین مقدار ($\bar{y}$=۷۳/۷) و همچنین در تیمار ۳۰ دسی‌زیمنس با میانگین ۳۶/۳ سانتی‌متر، کمترین مقدار ارتفاع گیاه را از خود به نمایش گذاشت (جدول ۲). وانگ و همکاران (Wang *et al.*, 2019)، رابطه هفت صفت طول دوره رشد، ارتفاع گیاه، قطر ساقه، تعداد انشعابات ساقه اصلی، طول گل‌آذین اصلی، تعداد انشعابات گل‌آذین اصلی، وزن هزاردانه را با عملکرد دانه گیاه در ۱۰ ژنوتیپ کینوا با استفاده از تجزیه علیت بررسی کردند. اثر مستقیم ارتفاع گیاه و قطر ساقه بر عملکرد دانه گیاه قابل‌توجه بود و نتیجه گرفتند که امکان گزینش ژنوتیپ با عملکرد دانه بالا از طریق قطر ساقه و ارتفاع گیاه امکان‌پذیر است.

در صفت عرض گل‌آذین، ژنوتیپ Giza1 در تیمار شاهد، بیشترین مقدار ($\bar{y}$=۴/۲۸) و ژنوتیپ Q12 در تیمار ۳۰ دسی‌زیمنس با میانگین ۱/۳۱ سانتی‌متر کمترین مقدار را از خود به نمایش گذاشتند (جدول ۲).

جدول ۱- تجزیه واریانس صفات مورفولوژیک ۹ ژنوتیپ کینوا تحت تیمار ٤ سطح شوری

Table 1- Variance analysis of morphological traits of 9 quinoa genotypes under the treatment of 4 levels of salinity

منابع تغییر SOV	درجه آزادی d.f	میانگین مربعات Mean square							
		ارتفاع گیاه Plant height (cm)	طول گل‌آذین Inflorescence length (cm)	عرض گل‌آذین Inflorescence width (cm)	تعداد شاخه فرعی Number of sub-branches	قطر ساقه Stem diameter (mm)	بیوماس Biomass (g)	وزن هزاردانه 1000grain weigh (g)	وزن دانه در گیاه Grain yield (g)
تکرار Replication	2	39.77	5.44	0.33	0.01	3.50	1.87	0.03	0.36
شوری Salinity	3	2429.1**	154.0**	9.19**	39.91**	16.87**	71.87**	0.10**	11.63**
ژنوتیپ Genotype	8	87.5**	4.86*	0.94**	8.99**	6.75	10.67**	0.13**	0.80**
شوری × ژنوتیپ Salinity × Genotype	24	50.49**	3.43	0.30*	5.30**	3.14	5.92**	0.08**	0.33**
خطای آزمایشی Error	70	22.89	2.08	0.16	1.61	0.60	1.66	0.02	0.15
ضریب تغییرات (٪)C.V.		8	12	15	8	12	21	11	19

** و * به‌ترتیب، نشان‌دهنده‌ی وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال یک و پنج درصد می‌باشد.

** and *, indicate significance at 1 and 5 percent probability levels, respectively.

افزایش سطح شوری باعث کاهش تعداد شاخه‌های فرعی در گیاه کینوا شد. جدول اثرات متقابل نشان می‌دهد بیشترین تعداد شاخه‌های فرعی مربوط به ژنوتیپ Q26 در تیمار شاهد با میانگین ۱۸/۸ بود و کمترین تعداد را ژنوتیپ Q12 در تیمار ۳۰ دسی‌زیمنس شوری با میانگین ۱۱/۱ از خود نشان داد (جدول ۲).

در بین اثرات متقابل بین ژنوتیپ و شوری، ژنوتیپ Q31 در تیمار ۱۰ دسی‌زیمنس شوری، بیشترین مقدار ($\bar{y}$=۱/۶۸) و همچنین در تیمار ۳۰ دسی‌زیمنس با میانگین ۰/۹۶ گرم کمترین مقدار وزن هزاردانه را از خود به نمایش گذاشت (جدول ۲). در آزمایش باقری و همکاران (Bagheri, Miri, Kloshkam, Anafjeh, & Keshavarz, 2022) نیز ژنوتیپ Q31 با میانگین ۳/۱ گرم وزن هزاردانه بیشترین مقدار را در بین ارقام مختلف در مناطق اهواز، بوشهر و ایرانشهر داشته است.

در صفت وزن دانه در گیاه، ژنوتیپ Giza1 با میانگین ۲/۴۷ گرم در تیمار شاهد بیشترین مقدار و ژنوتیپ Q31 در سطح شوری ۳۰ دسی‌زیمنس با میانگین ۰/۰۰۸ گرم کمترین مقدار را دارا بودند (جدول ۲). در پژوهشی که ارقام مختلف گیاه کینوا در مناطق جنوبی کشور الجزایر که با چالش‌های مهمی همچون خشکی، گرما و شوری بالا مواجه است، بهترین رقم‌هایی که می‌توانند نسبت به شرایط محیطی منطقه، تطابق بیشتری نشان دهند و محصول بیشتری را تولید کنند، ارقام SantaMaria و Giza1 معرفی شد (Maamri, Zidane, Chaabena, Fiene, & Bazile, 2022).

همبستگی

روابط همبستگی بین غالب صفات از نوع مثبت بود ولی در اکثر موارد این روابط از نوع معنی‌دار نبود. بیشترین مقدار همبستگی بین صفات وزن دانه در گیاه و عرض گل آذین (**۰/۸۵) بود. همبستگی بین صفت ارتفاع گیاه با صفات طول و عرض گل‌آذین، وزن هزاردانه و وزن دانه در گیاه اگرچه معنی‌دار نبود اما از مقادیر بالایی برخوردار بود (جدول ۳). در آزمایشی که با همین ارقام در محیط مزرعه انجام شد ارتباط مثبت و معنی‌داری بین صفات فوق مشاهده شد (Kia, Bagheri, Babaeian Jelodar, & Bagheri, 2022). این نتایج نشان‌دهنده‌ی تاثیر مثبت صفت ارتفاع گیاه در صفات مرتبط با مراحل زایشی می‌باشد. به‌طوری‌که در نهایت می‌تواند باعث افزایش عملکرد دانه گیاه گردد. بنابراین انتخاب بر اساس این صفت می‌تواند نشانگر فنوتیپی خوبی برای وضعیت عملکرد دانه در این ژنوتیپ‌ها از گیاه کینوا باشد. آگاهی از میزان و نوع همبستگی بین صفات برای به‌نژادگر بسیار مهم می‌باشد. به‌طوری که فعالیت‌های به‌نژادی با دقت و سرعت بیشتری انجام خواهد شد و همچنین اطلاعات آن ایده‌ی اولیه مناسبی برای بررسی‌های بیشتر ژنتیکی صفات مورد مطالعه خواهد بود.

جدول ۲- مقایسه میانگین اثر متقابل رقم در شوری در صفات مورد بررسی

Table 2- Comparison of the average interaction effect of variety on salinity in the studied traits

شوری Salinity	ژنوتیپ Genotype	ارتفاع گیاه Plant height (cm)	طول گل‌آذین Inflorescence length (cm)	عرض گل‌آذین Inflorescence width (cm)	تعداد شاخه فرعی Number of sub-branches	قطر ساقه Stem diameter (mm)	بیوماس Biomass (g)	وزن هزاردانه 1000 grain weigh (g)	وزن دانه در گیاه Grain yield (g)
	Ttiticaca	60.37^{b-g}	13.93^{b-f}	3.38^{bc}	14.12^{d-k}	5.88bc	6.96b-i	1.32^{c-h}	1.82^{abc}
	Q12	73.71^{a}	15.71^{-c}	3.00^{c-e}	16.42^{bcd}	8.47^{ab}	12.24^{a}	1.26 $^{c-j}$	0.98^{d-g}
	Q21	67.91^{ab}	14.80^{a-d}	3.30^{ab}c	15.16^{c-i}	7.11^{bc}	8.87^{bcd}	1.38^{b-g}	2.06^{abc}
شاهد	Q22	63.12^{b-e}	13.12^{c-i}	3.05^{b-f}	15.62^{b-h}	7.35^{bc}	7.48^{b-h}	1.45^{a-d}	1.68^{bcd}
Ctr.	Q26	65.88^{a-e}	16.00^{ab}	3.70^{ab}	18.87^{a}	6.97^{bc}	8.08^{b-e}	1.50^{a-d}	1.86^{abc}
	Q29	62.78^{b-f}	13.56^{b-g}	3.40^{bc}	17.87^{ab}	7.06^{bc}	8.51^{bcd}	1.42 $^{a-f}$	2.30^{ab}
	Q31	64.88^{a-e}	14.37^{a-e}	3.41^{bc}	16.37^{b-e}	7.56^{bc}	7.65^{b-g}	1.45^{a-e}	2.05^{abc}
	Giza1	64.37^{b-e}	16.68^{a}	4.28^{a}	12.75^{i-l}	7.69^{bc}	9.30^{b}	1.38^{b-g}	2.47^{a}
	Red Carina	59.50^{b-g}	12.45^{d-j}	2.80^{c-i}	14.33^{d-k}	5.80^{bc}	6.18^{b-j}	1.03^{i-j}	0.76^{e-j}
	Ttiticaca	62.62 $^{b-f}$	11.63 $^{e-l}$	2.44^{e-k}	16.00^{b-g}	5.63^{bc}	4.18^{i-k}	1.25^{c-j}	0.94^{f-j}
	Q12	52.13 $^{g-o}$	11.37 $^{f-m}$	1.88^{j-m}	12.50^{j-l}	5.28^{bc}	4.23^{h-k}	1.00^{j}	0.18^{h-j}
	Q21	67.89^{ab}	10.66 $^{g-o}$	2.68^{c-j}	16.33^{b-f}	5.87^{bc}	5.74^{b-k}	1.22^{d-j}	0.95^{d-g}
۱۰ دسی‌زیمنس	Q22	57.57 $^{d-j}$	11.14 $^{f-m}$	2.24^{f-l}	15.00^{c-j}	6.73^{bc}	6.49^{b-j}	1.64^{ab}	0.89^{e-i}
10dS m^{-1}	Q26	68.29 ^{ab}	13.71 $^{b-f}$	2.67^{c-j}	17.00^{abc}	6.97^{bc}	7.75^{b-f}	1.17^{f-j}	0.90^{e-i}
	Q29	62.78 $^{b-f}$	11.78 $^{e-l}$	3.20^{b-e}	16.00^{b-g}	5.80^{bc}	5.90^{b-k}	1.30^{c-i}	1.04^{def}
	Q31	67.50 ^{abc}	13.43 $^{b-h}$	2.87^{c-h}	16.13^{b-f}	7.13^{bc}	8.03^{b-e}	1.68^{a}	1.46^{cde}
	Giza1	58.33 $^{c-h}$	11.17 $^{f-m}$	2.23^{g-l}	13.33^{h-l}	7.38^{bc}	6.47^{b-j}	1.13^{g-j}	0.85^{f-j}
	Red Carina	57.29 $^{e-k}$	11.64 $^{e-l}$	2.40^{e-k}	16.57^{bcd}	4.74^{c}	4.29^{h-k}	1.00^{j}	0.45^{f-j}
	Ttiticaca	53.50^{f-m}	11.31 $^{f-m}$	2.68^{c-j}	16.25^{b-f}	4.95^{c}	4.33^{h-k}	41.1^{b-g}	1.02^{def}
	Q12	48.71 $^{j-p}$	9.07 $^{l-p}$	1.95^{j-m}	15.00^{c-j}	5.38^{bc}	3.52^{j-k}	1.22 $^{d-j}$	0.20^{g-j}
	Q21	58.11 $^{c-i}$	11.55 $^{e-l}$	2.57^{d-k}	14.88^{c-j}	5.56^{bc}	4.73^{f-k}	1.30 $^{c-i}$	0.87 $^{e-i}$
۲۰ دسی‌زیمنس	Q22	51.37 $^{g-o}$	9.75 $^{j-p}$	1.77^{k-m}	13.87 $^{f-k}$	6.86^{bc}	5.62^{d-k}	1.10 $^{h-j}$	0.56 $^{f-j}$
20dS m^{-1}	Q26	55.11 $^{e-l}$	10.27 $^{i-p}$	2.27^{f-l}	14.55 $^{c-k}$	5.90 ^{bc}	4.86 $^{e-k}$	1.26 $^{c-j}$	0.34 $^{f-j}$
	Q29	51.55 $^{g-o}$	12.22 $^{d-k}$	2.45^{e-k}	12.77^{i-l}	6.67^{bc}	5.86^{b-k}	1.23 $^{d-j}$	0.40 $^{f-j}$
	Q31	44.87 $^{m-q}$	10.18 j^{-p}	2.21^{g-l}	13.62 $^{g-k}$	5.10^{bc}	4.47 $^{g-k}$	1.52 ^{abc}	0.37 $^{f-j}$
	Giza1	49.33 $^{h-p}$	10.77 $^{g-n}$	2.52^{d-k}	12.66 $^{i-l}$	6.73 ^{bc}	5.77^{b-k}	1.20 $^{e-j}$	0.93 $^{d-h}$
	Red Carina	48.94 $^{i-p}$	9.53 $^{j-p}$	2.18 $^{g-l}$	13.33 $^{h-l}$	4.83 ^{c}	3.94 $^{i-k}$	1.21 $^{e-j}$	0.55 $^{f-j}$
	Ttiticaca	41.44^{p-q}	9.33 $^{k-p}$	2.35 $^{f-k}$	14.11 $^{d-k}$	3.97 ^{c}	2.64 ^{k}	1.38 $^{b-g}$	0.42 $^{f-j}$
	Q12	36.33 ^{q}	7.50 ^{p}	1.31^{m}	11.16 ^{l}	5.01 ^{bc}	3.55 $^{j-k}$	0.98 ^{j}	0.008 ^{j}
	Q21	48.22 $^{j-p}$	8.88 l^{-p}	2.16 $^{h-l}$	14.11 $^{d-k}$	5.22 ^{bc}	4.23 $^{h-k}$	1.44^{a-f}	0.37 $^{f-j}$
۳۰ دسی‌زیمنس	Q22	47.14 l^{-p}	9.35 $^{k-p}$	1.94 $^{j-m}$	13.14 $^{h-l}$	6.48 ^{bc}	8.91 ^{bc}	1.28 $^{c-i}$	0.46 $^{f-j}$
30dS m^{-1}	Q26	46.66 l^{-p}	9.44 $^{k-p}$	2.54 $^{d-k}$	13.88 $^{e-k}$	5.40 ^{bc}	6.23 $^{b-j}$	1.35 $^{c-h}$	0.30^{f-j}
	Q29	42.22 $^{o-q}$	8.55 $^{m-p}$	1.50l^{-m}	12.22 $^{k-l}$	5.70 ^{bc}	4.52 $^{f-k}$	1.03 $^{i-j}$	0.10^{i-j}
	Q31	47.12 $^{l-p}$	10.62 $^{h-o}$	1.80^{k-m}	13.62 $^{g-k}$	6.17 ^{bc}	6.32 $^{b-j}$	0.98 ^{j}	0.008 ^{j}
	Giza1	46.00 $^{l-p}$	8.22 $^{n-p}$	2.56 $^{d-k}$	13.50^{h-l}	5.76 ^{bc}	5.10 $^{e-k}$	1.16 $^{f-j}$	0.38 $^{f-j}$
	Red Carina	43.44^{n-q}	7.83 $^{o-p}$	1.98^{i-m}	13.22 $^{h-l}$	4.90^{c}	3.57 $^{j-k}$	1.24 $^{d-j}$	0.28 $^{f-j}$

حروف مشابه در هر ستون نشان‌دهنده‌ی عدم وجود اختلاف معنی‌دار می‌باشد.

Similar letters in each column indicate the absence of significant differences.

تاثیر سطوح مختلف شوری بر ژنوتیپ‌ها

در این مطالعه اگرچه با افزایش سطح شوری، کاهش معنی‌داری در صفات مختلف گیاه کینوا مشاهده شد، اما برخی ژنوتیپ‌ها، در صفات رویشی ارتفاع، تعداد شاخه‌های فرعی و بیوماس، ابتدا در سطوح ۱۰ تا ۲۰ دسی‌زیمنس دارای افزایش و سپس با افزایش سطح شوری دچار کاهش شدند (جدول ۲). این نتایج مطابق با نتایج جاکوبسن و همکاران (Jacobsen *et al.*, 2003) بود که مشاهده کردند، تولید زیست‌توده و عملکرد دانه کینوا در سطوح شوری متوسط (۱۰–۲۰ دسی‌زیمنس بر متر) نسبت به شاهد بیشتر بود. در دو رقم مورد آزمایش، عملکرد دانه در سطح شوری ۱۵ dS m^{-1} بالاترین عملکرد را نشان داد. اما بالاتر از این سطح شوری، منجر به کاهش عملکرد در هر دو رقم مورد آزمایش شد. نتایج مشابهی در پژوهش محققان دیگر نیز گزارش شده است (Lieth, 1999; Koyro & Eisa, 2008). به دلیل روند خاص ناهنجاری به‌وجودآمده توسط تنش شوری در گیاه کینوا، نسبت به گیاهان زراعی دیگر و همچنین معنی‌داری اثر متقابل شوری و ژنوتیپ، تاثیر هر کدام از سطوح شوری بر ژنوتیپ‌ها، به‌طور جداگانه مورد بررسی قرار گرفت.

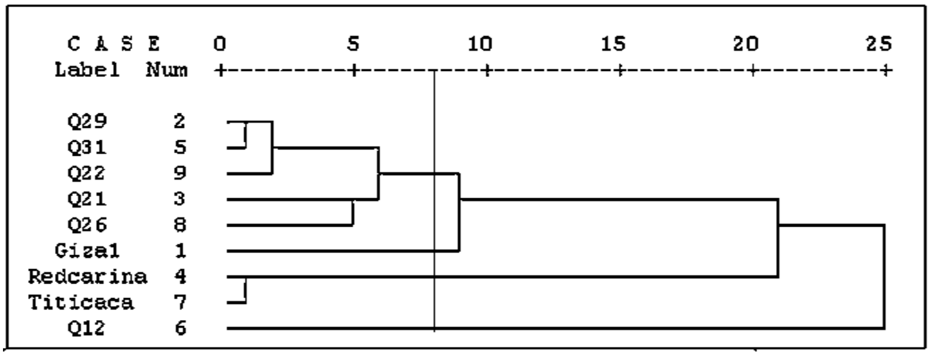
جدول ۳- ضرایب همبستگی بین صفات مورد بررسی تحت تاثیر تیمارهای مختلف شوری
Table 3- Correlation coefficients between investigated traits under the influence of different salinity treatments

صفات	۱. ارتفاع گیاه 1. Plant height	۲. طول گل‌آذین 2. Inflorescence length	۳. عرض گل‌آذین 3. Inflorescence width	٤. تعداد شاخه فرعی 4. Number of sub-branches	٥. قطر ساقه 5. Stem diameter	٦. بیوماس 6. Biomass	۷. وزن هزار دانه 7. 1000grain weigh	۸. وزن دانه در گیاه 8. Grain yield
1	1	0.64	0.59	0.64	0.54	0.36	0.54	0.64
2		1	0.75*	0.48	0.27	0.40	0.50	0.62
3			1	0.28	0.23	0.17	0.37	0.85**
4				1	-0.16	-0.07	0.46	0.21
5					1	0.82**	0.41	0.55
6						1	0.47	0.41
7							1	0.65*
8								1

** و * به‌ترتیب نشان‌دهنده‌ی معنی‌داری در سطوح یک و پنج درصد احتمال می‌باشد.
** and * indicate significance at 1 and 5 percent probability levels, respectively.

تیمار شاهد

در این تیمار ژنوتیپ Giza1، حائز بیشترین مقادیر در صفات ارتفاع، طول گل آذین، عرض گل‌آذین، بیوماس، قطر ساقه، بیوماس و وزن دانه در گیاه بود. همچنین ژنوتیپ‌های Q21، Q26، Q29 و Q31 هرکدام در چند صفت از جمله صفت وزن دانه در گیاه دارای بیشترین مقادیر بودند. در مطالعه‌ای جهت بررسی سازگاری ۱۲ ژنوتیپ کینوا به آب و هوای کوهستانی و سرد منطقه شهرکرد، ژنوتیپ‌های Q26، Giza1 و Q29، به‌ترتیب با عملکرد ۲۵۰۶، ۲۳۰۴ و ۲۰۳۱ کیلوگرم در هکتار، بالاترین عملکرد و بیشترین میزان سازگاری را از خود نشان دادند (Bagheri, Anafjeh, Keshavarz, & Foladi, 2021). اما ژنوتیپ Q12 در صفات رویشی، بهترین عملکرد را داشت و ضعیف‌ترین عملکردها را ژنوتیپ Redcarina در اکثر صفات داشت (جدول ۲).

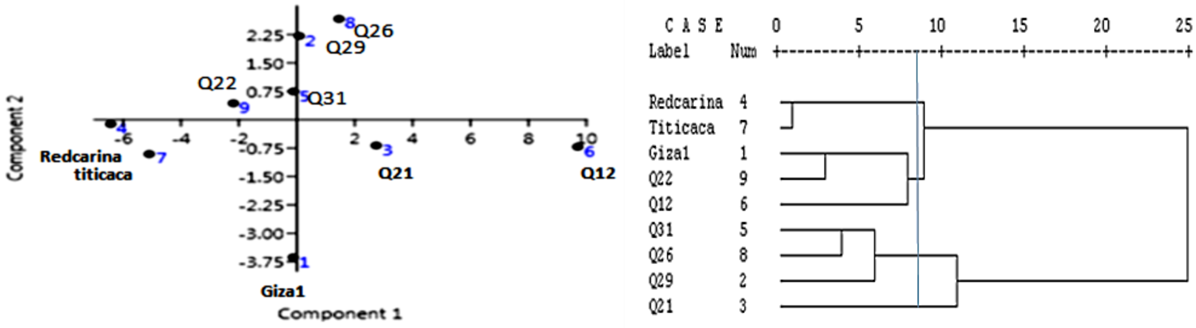


شکل ۱- گروه‌بندی ۹ ژنوتیپ کینوا تحت تاثیر سطح شاهد شوری بر اساس صفات مورفولوژیک با استفاده از فاصله اقلیدوسی
Figure 1- Grouping of 9 quinoa genotypes under the influence of salinity control level based on morphological traits using Euclidean distance

دندروگرام تجزیه خوشه‌ای ارقام تحت تیمار بدون شوری به روش وارد برای صفات مورد بررسی، ژنوتیپ‌ها را در سه دسته قرار داد. ژنوتیپ‌های Q21، Q22، Q26، Q29 و Q31 و Giza1 که در اکثر صفات دارای عملکرد خوبی بودند در خوشه یک قرار گرفتند و ژنوتیپ‌های Titicaca و RedCarina و همچنین ژنوتیپ Q12 با عملکرد پایین به‌ترتیب در خوشه‌های دو و سه قرار گرفتند (شکل ۱).

تیمار ۱۰ دسی‌زیمنس شوری

در این تیمار ژنوتیپ Q31 حائز بیشترین مقادیر در صفات ارتفاع، طول گل‌آذین، عرض گل‌آذین، بیوماس، وزن هزاردانه و وزن دانه در گیاه، ژنوتیپ Q26 در صفات ارتفاع، طول گل‌آذین، تعداد شاخه فرعی و بیوماس و ژنوتیپ Q21 در صفات ارتفاع، قطر ساقه و وزن دانه در گیاه بودند (جدول ۲).

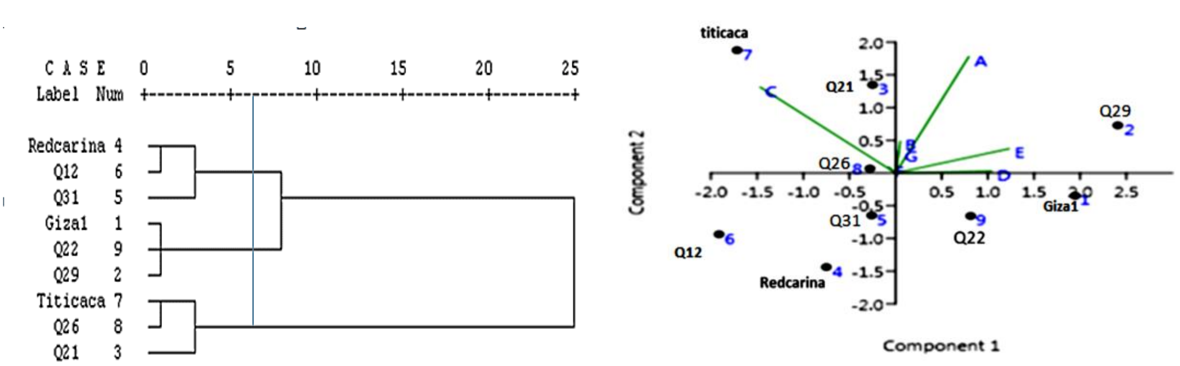


شکل ۲- گروه‌بندی کلاستر و بای‌پلات ۹ ژنوتیپ کینوا تحت تاثیر سطح ۱۰ دسی‌زیمنس شوری بر اساس صفات مورفولوژیک
Figure 2- Cluster biplot grouping of 9 quinoa genotypes under the influence of 10 deci-siemens salinity level based on morphological traits

نمایش بای‌پلات ژنوتیپ‌های مورد مطالعه بر اساس ۸ صفت برای شناسایی بهترین ژنوتیپ‌ها و صفات برای تحمل به شوری ۱۰ دسی‌زیمنس نشان می‌دهد که ژنوتیپ‌های Q22، Q26، Q29 و Q31 با توجه به این‌که در صفات طول گل‌آذین، بیوماس، هزاردانه و وزن دانه در گیاه بهترین عملکرد را داشتند در گروهی قرار گرفتند که نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها متحمل‌تر به شوری هستند. از طرفی ژنوتیپ‌های Titicaca، Giza1 و RedCarina که در اکثر صفات عملکرد ضعیفی از خود نشان دادند، نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها حساس‌تر نسبت به شوری ۱۰ دسی‌زیمنس می‌باشند. این نتایج به کمک تجزیه کلاستر نیز به تایید رسید (شکل ۲).

تیمار ۲۰ دسی‌زیمنس شوری

در این تیمار ژنوتیپ Titicaca و Q21 حائز بیشترین مقادیر در صفات ارتفاع، طول گل‌آذین، عرض گل‌آذین، تعداد شاخه فرعی، وزن هزاردانه و وزن دانه در گیاه، ژنوتیپ Giza1 در صفات عرض گل‌آذین، قطر ساقه، بیوماس و وزن دانه در گیاه و ژنوتیپ Q29 در صفات طول گل‌آذین، عرض گل‌آذین، قطر ساقه و بیوماس بودند (جدول ۲).



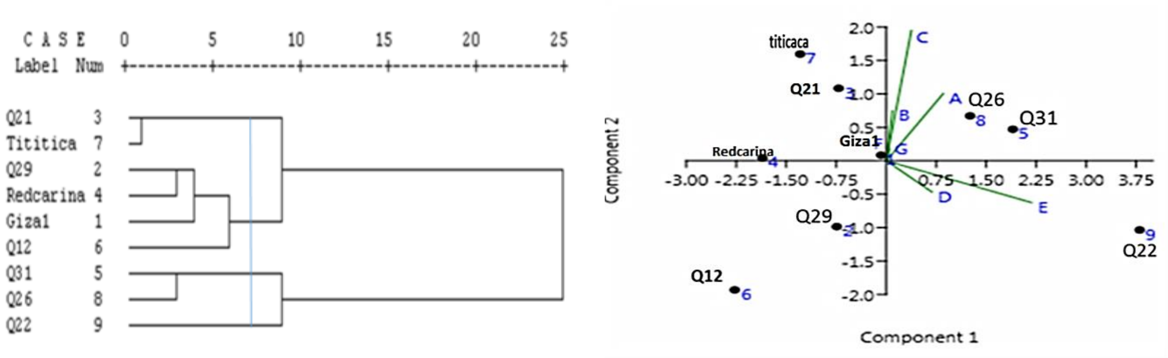
شکل ۳- گروه‌بندی کلاستر و بای‌پلات ۹ ژنوتیپ کینوا تحت تاثیر سطح ۲۰ دسی‌زیمنس شوری
Figure 3- Cluster and biplot grouping of 9 quinoa genotypes under the influence of 20 deci-siemens salinity level

واکنش برخی ژنوتیپ‌ها به شوری ۲۰ دسی‌زیمنس نسبت به سطوح قبلی شوری دارای تغییراتی بود. نمایش بای‌پلات ژنوتیپ‌های تیمارشده با این سطح شوری نشان می‌دهد، ژنوتیپ Q31 که در تیمارهای قبلی تحمل بالایی را از خود نشان داد به همراه ژنوتیپ‌های Q12 و RedCarina در اکثر صفات عملکرد ضعیفی داشتند و در هر دو تجزیه خوشه ای و بای‌پلات در گروه حساس قرار گرفتند. در عوض ژنوتیپ Titicaca علی‌رغم سطوح قبلی تیمار شوری درغالب صفات علی‌الخصوص وزن هزاردانه و وزن دانه در گیاه، بیشترین مقادیر را به همراه ژنوتیپ Q21 داشتند در گروه متحمل قرار گرفتند. اما قرارگیری ژنوتیپ Q29 در پلات با تحمل

بالا به دلیل عملکرد بالا در صفات رویشی می‌باشد که بیشترین مقادیر را دارا بود اما در صفات زایشی عملکرد مناسبی نداشت. نتایج به‌دست‌آمده از نوع واکنش متفاوت ژنوتیپ‌های گیاه کینوا در صفات رویشی و زایشی به تنش شوری، توسط نادعلی و همکاران (Nadali, Asghari, Abbasdokht, Dorostkar, & Bagheri, 2020) گزارش شد (شکل ۳).

تیمار ۳۰ دسی‌زیمنس شوری

در این تیمار ژنوتیپ Titicaca حائز بیشترین مقادیر در صفات طول گل‌آذین، عرض گل‌آذین، تعداد شاخه فرعی، وزن هزاردانه و وزن دانه در گیاه بود اما در صفات قطر ساقه و بیوماس دارای کمترین مقادیر بود. ژنوتیپ Giza1 در صفات ارتفاع، عرض گل‌آذین، قطر ساقه و وزن دانه در گیاه و ژنوتیپ Q21 در صفات ارتفاع، طول گل‌آذین، عرض گل‌آذین، تعداد شاخه فرعی، وزن هزاردانه و وزن دانه در گیاه بودند. ژنوتیپ Q22 در صفات ارتفاع، طول گل‌آذین، قطر ساقه، بیوماس و وزن دانه در گیاه دارای بیشترین مقادیر بود. همچنین از آن‌جایی‌که ژنوتیپ‌های Q26 و Q31 در چند صفت رویشی، دارای مقادیر بالایی بودند می‌توانند به‌عنوان کاندید ارقام علوفه‌ای جهت کشت در مناطق شور، مد نظر قرار گیرند (جدول ۲).



شکل ٤- گروه‌بندی کلاستر و بای‌پلات ۹ ژنوتیپ کینوا تحت تاثیر سطح ۳۰ دسی‌زیمنس شوری

Figure 4- Cluster and biplot grouping of 9 quinoa genotypes under the influence of 30 deci-siemens salinity level

جدول ٤- تجزیه به مولفه‌های اصلی صفات مختلف در هر سطح شوری NaCl

Table 4- Principal Component Analysis of different traits at each NaCl salinity level

	Ctr.شاهد			10 dS m^{-1}			20 dS m^{-1}			30 dS m^{-1}	
صفات	مولفه اول C. 1	مولفه دوم C. 2	مولفه سوم C. 3	مولفه اول C. 1	مولفه دوم C. 2	مولفه سوم C. 3	مولفه اول C. 1	مولفه دوم C. 2	مولفه سوم C. 3	مولفه اول C. 1	مولفه دوم C. 2
Plant height ارتفاع	0.944	-0.044	0.269	0.814	0.425	0.308	0.175	0.395	0.837	0.587	0.738
طول گل‌آذین Inflorescence length	0.680	0.596	-0.134	0.469	0.549	-0.552	0.263	0.906	0.084	0.274	0.691
عرض گل‌آذین Inflorescence width	0.106	0.943	-0.210	0.837	0.313	0.058	-0.163	0.926	0.139	0.919	0.027
تعداد شاخه فرعی N. of sub-branche	0.131	-0.050	0.925	0.927	-0.083	-0.027	-0.593	0.050	0.716	0.905	0.235
قطر ساقه Stem diameter	0.885	0.130	0.138	0.204	0.224	0.917	0.960	0.041	-0.019	-0.279	0.912
Biomassبیوماس	0.983	0.017	0.014	0.250	0.873	0.083	0.860	0.403	-0.176	0.005	0.920
وزن هزار دانه 1000grain weigh	0.213	0.697	0.558	0.114	0.857	0.054	-0.745	0.462	-0.256	0.931	-0.069
Grain yield وزن دانه	-0.071	0.932	0.148	0.542	0.771	0.251	0.016	0.650	0.325	0.833	0.063
Cumulativeتجمعی	46.97	74.24	89.74	35.67	69.75	86.22	33.69	66.66	84.68	46.53	81.09

نتایج حاصل از هر دو تجزیه خوشه‌ای و بایپلات نشان می‌دهد ژنوتیپ‌های Q21 و Titicaca همانند تیمار قبلی با کمترین کاهش عملکرد دارای بالاترین مقادیر در اکثر صفات از جمله وزن دانه بودند و در گروه ژنوتیپ‌های متحمل به شوری قرار گرفتند. همچنین ژنوتیپ‌های Redcarina، Q12 و Q29 با عملکرد پایین در صفات مختلف در گروه ژنوتیپ‌های حساس قرار گرفتند. ژنوتیپ Q31 در رفتاری مشابه ژنوتیپ Q29 در تیمار ۲۰ دسی‌زیمنس، دارای کمترین عملکرد دانه بود. در حالی‌که این ژنوتیپ دارای بیشترین مقادیر در صفات رویشی بود. به همین علت در آزمون بایپلات در منطقه با تحمل بالا به سطح شوری ۳۰ دسی‌زیمنس قرار گرفت (شکل ۴).

تجزیه به مولفه‌های اصلی

نتایج به‌دست‌آمده از تجزیه به مولفه‌های اصلی در سطوح مختلف شوری نشان می‌دهد صفات رویشی همانند ارتفاع، تعداد شاخه‌های فرعی، قطر ساقه، بیوماس و حتی طول گل‌آذین اصلی، بیشترین تغییرات را در سطوح شوری پایین (شاهد تا ۲۰ دسی‌زیمنس)، توجیه می‌کند. درحالی که بیشترین تغییرات در گیاه کینوا تحت تیمار شوری ۳۰ دسی‌زیمنس را صفات زایشی همچون عرض گل‌آذین، وزن هزاردانه و وزن دانه در گیاه، توجیه کرده است (جدول ۴).

نتیجه‌گیری

مطابق با نتایج به‌دست‌آمده با افزایش سطح شوری NaCl، کاهش معنی‌داری در تمامی صفات ایجاد شد. اما عملکرد برخی از ژنوتیپ‌ها به‌خصوص در صفات رویشی در سطوح شوری پایین تا متوسط بهتر از تیمار شاهد شوری بود که به وجود سلول‌های بالونی اپیدرمی در اندام مختلف گیاه کینوا، تجمع بیشتر آب و تعدیل روابط یونی گیاه نسبت داده شده است. ژنوتیپ‌های مختلف دارای اختلاف معنی‌دار در غالب صفات در هر تیمار شوری بودند. ژنوتیپ‌های RedCarina و Q12 در تمامی سطوح شوری دارای عملکرد پایینی در غالب صفات و ژنوتیپ‌های Giza1 و Q21 و تا حدودی Q22 با روندی یکنواخت در سطوح مختلف شوری دارای عملکرد بالایی در اکثر صفات بودند. به‌طوری‌که این ژنوتیپ‌ها در گروه‌بندی تجزیه کلاستر و همچنین بای‌پلات در گروه‌های مشابه قرار گرفته و به‌ترتیب به‌عنوان ژنوتیپ‌های حساس و متحمل به شوری معرفی می‌شوند. اما برخی ژنوتیپ‌ها عملکردی نسبی در سطوح مختلف شوری داشتند. رقم Titicaca (شاهد منطقه) در سطوح شوری بالا و ژنوتیپ‌های Q29 و Q31 در سطوح پایین شوری (صفر و ۱۰ دسی‌زیمنس)، دارای عملکرد بالایی در غالب صفات بودند و با ژنوتیپ‌های متحمل در یک گروه قرار گرفتند. دو ژنوتیپ اخیر در سطوح شوری ۲۰ و ۳۰ دسی‌زیمنس اگرچه در صفات رویشی دارای بالاترین مقادیر بودند اما در صفات زایشی خصوصا در صفت وزن دانه در گیاه، دچار افت عملکرد شدید می‌شوند و پایین‌ترین مقادیر را به خود اختصاص دادند. بنابراین این دو ژنوتیپ را می‌توان مستعد کشت با هدف عملکرد دانه در اراضی با سطوح شوری پایین و همچنین به‌عنوان گیاه علوفه‌ای در مناطق با سطح شوری بالا معرفی کرد. اگرچه محققان، بحرانی‌ترین دوره رشدی کینوا در مواجهه با تنش‌ها را زمان استقرار آن عنوان کردند، اما با توجه به نتایج به‌دست‌آمده از پژوهش حاضر به‌نظر می‌رسد مرحله دانه‌بندی در گیاه کینوا هم می‌تواند به‌عنوان یک مرحله حساس به شوری معرفی گردد. چرا که برخی ارقام، بهترین عملکردها را در صفات رویشی (تا مرحله تشکیل گل‌آذین)، خصوصا در سطوح شوری بالا از خود به نمایش گذاشتند اما پس از آن دچار نقصان شدید عملکرد شدند. از همین روی، نتایج حاصل از تجزیه به مولفه‌های اصلی، نشان می‌دهد بیشتر تغییرات ایجادشده در گیاهان در سطوح شوری بالا، علی‌الخصوص در سطح شوری ۳۰ دسی‌زیمنس بر متر، توسط صفات زایشی همانند عرض گل‌آذین، وزن هزاردانه و وزن دانه در گیاه توجیه شد. به‌طوری‌که برخی ارقام که بالاترین مقادیر طول گل‌آذین و صفات رویشی را داشتند به دلیل عدم دانه‌بندی مناسب، دارای کمترین عرض گل‌آذین و وزن دانه در گیاه بودند. همبستگی مثبت و معنی‌دار وزن دانه در گیاه با عرض گل‌آذین و عدم معنی‌داری آن با طول گل‌آذین موید نتیجه به‌دست‌آمده می‌باشد (جدول ۳). اما به نظر می‌رسد مهم‌ترین نتیجه به‌دست‌آمده از پژوهش حاضر وجود تنوع ژنتیکی بالا در بین ژنوتیپ‌های گیاه کینوا باشد. انواع واکنش‌ها از طرف ژنوتیپ‌های کینوا به سطوح مختلف شوری و واکنش متفاوت برخی از ژنوتیپ‌ها در مراحل مختلف رشدی به هر سطح از شوری و غیره گواه وجود تنوع بالا بین این ژنوتیپ‌ها می‌باشد. تنوع ژنتیکی، لازمه اصلی انجام هر فعالیت به‌نژادی می‌باشد.

سپاسگزاری

نگارندگان از کمک‌های بی‌دریغ آقایان دکتر مرتضی اولادی و مهندس حسین شاکری و همکاری اداره تحقیقات هواشناسی کشاورزی هاشم آباد گرگان، کمال تشکر و قدردانی را دارند.

References

1. Adolf, V. I., Jacobsen, S. E., & Shabala, S. (2013). Salt tolerance mechanisms in quinoa (*Chenopodium quinoa*

Willd.). *Environmental and Experimental Botany*, *92*, 43-54. https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2012.07.004

2. Akbari Ghozhdi, E., Izadi Darbandi, A., Borzoyei, A., & Majdabadi, A. (2010). Evaluation of morphological changes of wheat genotypes under salinity stress conditions. *Journal of Greenhouse Culture Science and Technology*, *1*(4), 71-82. https://dorl.net/dor/20.1001.1.20089082.1389.1.4.7.7
3. Bagheri, M., Zamani, M. R., Shouride, H., Molaei, A. R., Mansourian, A. R., & Heydari, F. (2019). Evaluation of compatibility of quinoa Genotypes in Mashhad and Isfahan. Final Research Project Report, Agricultural Research and Information Center, Registration No. 53795. (in Persian with English abstract).
4. Bagheri, M., Anafjeh, Z., Keshavarz, S., & Foladi, B. (2021). Evaluation of quantitative and qualitative characteristics of new quinoa genotypes in spring cultivation at karaj. *Iranian Journal of Field Crops Research, 18*(4), 465-475. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.52547/abj.22.4.376
5. Bagheri, M., Miri, Kh., Kloshkam, S. G., Anafjeh, Z., & Keshavarz, S. (2022). Assessment of adaptability and seed yield stability of autumn sown quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) genotypes using AMMI analysis. *Seed and Plant*, *38*, 453-472. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22092/spj.2023.362282.1308
6. Bertero, H. D., de la Vega, A. J., Correa, G., Jacobsen, S. E., & Mujica, A. (2004). Genotype and genotype-by-environment interaction effects for grain yield and grain size of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) as revealed by pattern analysis of international multi-environment trials. *Field Crops Research*, *89*, 299-318. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2004.02.006
7. Beyrami, H., Rahimian, M., Salehi, M., Yazdani Biouki, R., & Shiran-Tafti, M., (2020). Nikkhah, M. Effect of Irrigation Frequency on Yield and Yield Components of Quinoa (*Chenopodium quinoa*) under Saline Condition. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, *30*(3), 347-357. https://dorl.net/dor/20.1001.1.24764310.1399.30.3.20.5
8. Eisa, S., Hussin, S., Geissler, N., & Koyro, H. W. (2012). Effect of NaCl salinity on water relations, photosynthesis and chemical composition of Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) as a potential cash crop halophyte. *Australian Journal of Crop Science*, *6*(2), 357-368.
9. Flowers, T. J., & Muscolo, A. (2015). Introduction to the Special Issue: Halophytes in a changing world, *AoB PLANTS*, *7*, plv020. https://doi.org/10.1093/aobpla/plv020
10. Hariadi, Y., Marandon, K., Tian, Y., Jacobsen, S. E., & Shabala, S. (2011). Ionic and osmotic relations in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) plant grown at various salinity levels. *Journal of Experimental Botany*, *62*(1), 185-193. https://doi.org/10.1093/jxb/erq257
11. Hatami, A. A., Aminian, R., Mafakheri, S., & Soleimani Aghdam, M. (2021). Effect of Gamma Amino Butyric Acid on Morpho-Physiological Traits and Seed Yield of Quinoa under Salinity Stress. *Plant Production*, *44*(4), 559-572. https://doi.org/10.22055/ppd.2021.35988.1960
12. Jacobsen, S. E., Mujica, A., & Jensen, C. R., (2003). The resistance of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) to adverse abiotic factors. *Food Reviews International*, *19*(1 and 2), 99-109. https://doi.org/10.1081/FRI-120018872
13. Jacobsen, S. E., Quispe, H., & Mujica, A. (2001). Quinoa: an alternative crop for saline soils in the Andes, Scientists and Farmer-Partners in Research for the 21st Century. CIP Program Report 1999-2000, pp. 403-408.
14. Kia, M., Bagheri, N., Babaeian Jelodar, N., & Bagheri, M. (2022). Investigation of Morphological and Genotypic Characteristics of Quinoa in Gorgan Region. *Journal of Crop Breeding*, *14*(43), 145-154. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.52547/jcb.14.43.145
15. Konishi, Y. (2002). Nutritional Characteristics of Pseudocereal Amaranth and Quinoa: Alternative Foodstuff for Patients with Food Allergy. *Journal of Japan Society of Nutrition and Food Sciences*, *55*, 299-302.
16. Koyro, H. W., & Eisa, S. S. (2008). Effect of salinity on composition, viability and germi-nation of seeds of *Chenopodium quinoa* Willd. *Plant and Soil*, *302*, 79-90. https://doi.org/10.1007/s11104-007-9457-4
17. Lieth, H. (1999). *Development of crops and other useful plants from halophytes*, in: Lieth, H., Moschenko, M., Lohmann, M., Koyro, H-W., Hamdy, A. (Eds.), Halo-phyte uses in different climates: Ecological and ecophysiological studies. Prog. Biometeorology, vol. 13. Backhuys Publ., Leiden, NL, pp. 1-18.
18. Maamri, K., Zidane, O. D., Chaabena, A., Fiene, G., & Bazile, D. (2022). Adaptation of Some Quinoa Genotypes (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Grown in a Saharan Climate in Algeria. Life*, *12*, 1854. https://doi.org/10.3390/life12111854
19. Mamedi, A., Tavakkol Afshari, R., & Oveisi, M. (2016). Evaluation of various temperatures on Quinoa plant seeds under salinity stress. *Iranian Journal of Field Crop Science*, *46*(4), 583-589. https://doi.org/10.22059/ijfcs.2015.56808
20. Mishra, R. K. (2023). Fresh Water availability and Its Global challenge. *British Journal of Multidisciplinary and Advanced Studies*, *4*(3), 1-78. https://doi.org/10.37745/bjmas.2022.0208
21. Munns, R., & Tester, M. (2008). Mechanisms of salinity tolerance. *Annual Review of Plant Biology*, *59*, 651-681. https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.59.032607.092911
22. Nadali, F., Asghari, H. R., Abbasdokht, H., Dorostkar, V., & Bagheri, M. (2020). Improved Quinoa growth, physiological response, and yield by hydropriming under drought stress conditions. *Gesunde Pflanzen*, *73*, 53-66. https://link.springer.com/article/10.1007/s10343-020-00527-1

23. Pearsall, D. (1992). The origins of plant cultivation in South America. In: Wesley Cowan, C., Jo Watson, P. (Eds.), *The Origins of Agriculture. An International Perspective*. Smithsonian Institution Press, Washington, London, pp. 173-205. https://doi.org/10.1086/659998
24. Rahimian, M., & Banakar, M. (2013). Technical publication of Iran's National Saline Research Center. How to use the four-electrode salinity meter. Publications of Research, Education and Promotion Organization. Pages 2-18. Tehran.
25. Sharifan, H., Jamali, S., & Sajadi, F. (2018). Investigation the Effect of Different Salinity Levels on the Morphological Parameters of Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) under Different Irrigation Regimes. *Journal of Water and Soil Science, 22*(2), 15-27. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.29252/jstnar.22.2.15
26. Vega-Gálvez, A., Miranda, M., Vergara, J., Uribe, E., Puente, L., & Martínez, E. A. (2010). Nutrition facts and functional potential of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.), an ancient Andean grain: a review. *Journal of the Science of Food and Agriculture, 90*(15), 2541-2547. https://doi.org/10.1002/jsfa.4158
27. Wang, Y., Li, Y., Li, C., Lu, W., Sun, D., Yin, G., Hong, B., & Wang, L. (2019). Correlation and path analysis of the main agronomic traits and yield per plant of Quinoa. *Crops*, *35*(6), 156-161. https://doi.org/10.16035/j.issn.1001-7283.2019.06.025
28. Wilson, C., Read, J. J., & Abo-Kassem, E., (2002). Effect of mixed-salt salinity on growth and ion relations of a quinoa and a wheat variety. *Journal of Plant Nutrition, 25*(12), 2689-2704. https://doi.org/10.1081/PLN-120015532